Wymiarowanie zbrojeń geosyntetycznych w konstrukcjach z gruntu zbrojonego w myśl przepisów EUROKODU 7 cz. II

Utworzono: czwartek, 17, grudzień 2009 08:38 Janusz Sobolewski



EC 7 pomimo że określa zasady projektowania geotechnicznego, nie zajmuje się bezpośrednio gruntem zbrojonym. Zasad projektowania w tym zakresie należy się „doczytać” lub ustalić poprzez analogię do innych zastosowań. W wielu krajach UE zostały albo będą wydane odpowiednie załączniki do EC 7, w których uściślone będą zasady projektowania konstrukcji z gruntu zbrojonego.

Ogólne zasady wymiarowania konstrukcji z gruntu zbrojonego w myśl EC 7

W Polsce można się w tym zakresie posługiwać Instrukcją ITB 429/2007 (Wysokiński i Kotlicki, 2007), którą można traktować jako projekt Załącznika Krajowego do EC 7 w zakresie projektowania nasypów, zboczy, ścian oporowych i przyczółków mostowych z gruntu zbrojonego. Idąc za EC 7 autorzy tej Instrukcji proponują stosować w 1. stanie granicznym trzecią kombinację współczynników cząstkowych bezpieczeństwa: Oddziaływania (A2) + Materiał (M2) + Opory (R3).

W tym zakresie Instrukcja ITB 429/2007 podaje jedynie wartości współczynników cząstkowych dla stanu podstawowego obciążenia. Autor tego artykułu proponuje uzupełnić w tym miejscu Instrukcje ITB (Wysokiński i Kotlicki, 2007) o dane zawarte w tablicy 1.

Phoca PDF

Rodzaj oddziaływania	Oznaczenie współ. bezpiecz.	Stan obciążenia		
		podstawowy	budowlany	wyjątkowy
Obciążenia stałe w tym ciężar własny gruntu, G	γ_G	1,00	1,00	1,00
Obciążenia zmienne, Q	γ_Q	1,30	1,20	1,10
Opór gruntu na ścinanie -niezdrenowana wytrzymałość na szybkie ścinanie, cu	γ_{cu}	1,40	1,30	1,20
-zdrenowana wytrzymałość na ścinanie φ', c'	$\gamma_{\varphi'}$ / $\gamma_{c'}$	1,25	1,15	1,10
Wytrzymałość zbrojenia na rozciąganie, F_d	γ_F	1,40	1,30	1,20

W ramach obliczeń dla 1. stanu granicznego Projektant tak długo dobiera obliczeniowe wartości wytrzymałości zbrojenia (Fd), aż spełnione będą następujące warunki równowagi:

$$(\Sigma R_d + \Sigma F_d) \geq \Sigma E_d \quad (1)$$

$$\Sigma(R_d \cdot r_R) + \Sigma(F_d \cdot r_F) \geq \Sigma(E_d \cdot r_E) \quad (2)$$

Przy czym za R_d należy rozumieć odpowiednie wartości obliczeniowe oporów, a za E_d oddziaływań. Wartości r_R, r_F i r_E oznaczają ramię działania danej siły. Powyższe ogólnie zapisane warunki równowagi oznaczają między innymi: sprawdzenie stateczności wewnętrznej (poślizg po zbrojeniu lub poślizg tnący wkładki) i stateczności zewnętrznej: wyparcie gruntu spod konstrukcji, poślizg poziomy w podstawie, obrót konstrukcji czy też stateczność ogólna dla głębszej powierzchni poślizgu. Powyższe warunki dotyczą sumy sił lub momentów stanowiących opory (R_d) i sumy oddziaływań stanowiących obciążenia (E_d). Wartości (F_d), które spełniają ten warunek należy umieścić w specyfikacji technicznej, jako obliczeniowe wartości wytrzymałości zbrojenia na rozciąganie. W przypadku gdy $T_d < F_d$ we wzorach (1,2) należy dla danych wkładek podstawić odpowiednie wartości T_d. W myśl Instrukcji ITB 429/2007 (Wysokiński i Kotlicki, 2007) nośność zakotwienia wyznacza się następująco:

$$T_d = 2 \cdot \sigma_{k,sr} \cdot L_B \cdot \frac{\mu_k}{\gamma_\varphi} \quad (3)$$

gdzie:
$\sigma_{k,sr}$ – wartość charakterystyczna naprężenia normalnego do zbrojenia

Phoca PDF

L_B – długość kotwiąca wkładki
μ_k – wartość charakterystyczna współczynnika tarcia grunt-zbrojenie

$$\mu_k = a_{\varphi'} \cdot \tan(\varphi'_k) \quad (4)$$

aφ’ - wskaźnik zazębienia się gruntu ze zbrojeniem dla wyciągania (pull-out)
γφ’ - cząstkowy współczynnik bezpieczeństwa dla tarcia wewnętrznego gruntu

Powyższe wzory odnoszą się do gruntów niespoistych, bo nie ma w nich członu dla adhezji i do wyciągania zbrojenia z gruntu, ponieważ widoczna jest liczba 2 oznaczająca ilość powierzchni poślizgu, jakie stawiają opór w trakcie wyciągania wkładki. W przypadku poślizgu gruntu po zbrojeniu mamy do czynienia z jedną powierzchnią poślizgu, dlatego we wzorze (3) zamiast 2 należy podstawić 1. W Instrukcji ITB 429/2007 (Wysokiński i Kotlicki, 2007) nie operuje się w zasadzie wskaźnikami zazębienia się gruntu o zbrojenie, definiując jedynie współczynnik tarcia dla kontaktu grunt-zbrojenie (μ_k). Zdaniem autora bardziej praktycznym podejściem jest wprowadzenie wskaźników zazębienia, które należy wymagać w specyfikacjach technicznych.

W praktyce wskaźniki zazębienia się z typowymi rodzajami gruntów są podawane przez producentów. Ogólnie można oczekiwać w piaskach, pospółkach i żwirach wskaźnika zazębienia się geosiatki z gruntem na poziomie 0,80-0,95, a dla geotkanin 0,65-0,75. W przypadku gruntów spoistych komplikuje się nieco wzór (3) ponieważ należy uwzględnić dodatkowo opór adhezji pomiędzy gruntem a zbrojeniem. Dla wyznaczenia wartości obliczeniowej oporu na wyciąganie zbrojenia z gruntu spoistego można posłużyć się następującą zależnością:

$$T_d = 2 \cdot L_B \cdot \left[\frac{a_{\varphi'} \cdot \tan(\varphi'_k)}{\gamma_{\varphi'}} + \frac{a_{c'} \cdot c'_k}{\gamma_{c'}} \right] \quad (5)$$

gdzie: aφ’ i a_c’ wskaźniki zazębienia się geosyntetyku z gruntem z tytułu tarcia i adhezji.

W przypadku, gdy wkładka znajduje się pomiędzy dwoma rożnymi warstwami gruntu wzór (5) należy odpowiednio rozwinąć uwzględniając dwa zestawy parametrów gruntu i odpowiadające im wskaźniki zazębienia się ze zbrojeniem. Na dużych obiektach i przy zastosowaniu materiałów nietypowych, jak łupki pokopalniane, popioły, żużle i inne materiały odpadowe, wskaźniki zazębienia powinny być wyznaczane bezpośrednio poprzez odpowiednie badania.

W odniesieniu do 2. stanu granicznego stawia się oprócz konwencjonalnych warunków na osiadanie dopuszczalne, na dopuszczalną przechyłkę lub inne warunki

Phoca PDF

deformacji, warunek dopuszczalnego wydłużenia się zbrojenia. Ustalone na drodze doświadczeń wartości dopuszczalne wydłużeń zbrojenia mają chronić dany obiekt przed nadmiernymi deformacjami.

W zależności od tradycji i stopnia doświadczenia wartości dopuszczalnych wydłużeń nieco inaczej są definiowane w różnych krajach. W Instrukcji ITB 429/2007 Instytut Techniki Budowlanej oparł się głównie na zaleceniach brytyjskich, ponieważ większość postulowanych tam wartości jest zgodna z BS 8006:1995. W tablicy 2 podano dopuszczalne wartości wydłużeń dla zbrojeń geosyntetycznych, jakie zawarte są w omawianej instrukcji. Należy pamiętać, że pod pojęciem ściany oporowej rozumie się konstrukcje z nachyleniem lica powyżej 70°. Stąd widać, że dla stromych zboczy nie zostały postawione wymagania na wydłużenie. Zdaniem autora nie powinno się przyjmować dla zboczy wartości większych niż 5%, o ile stanowią one podparcia dróg publicznych. Z zestawienia w tablicy 2 widoczne jest, że na ogół mamy do sprawdzenia jeden warunek na wydłużenia i to wydłużenia całkowite. Tylko w przypadku przyczółków lub podpór mostowych należy dodatkowo sprawdzić, czy przyrost wydłużenia Δε od momentu zakończenia budowy do końca okresu eksploatacji nie przekroczy wartości 0,5%.

Rodzaj konstrukcji	Dopuszczalne wydłużenie ε_{gr} (%)
Ściany oporowe ze sztywną konstrukcją osłonową poza strefą oddziaływań innych obiektów	6,0
Nasypy i ściany oporowe stanowiące podparcie dróg publicznych	5,0
Nasypy i ściany oporowe stanowiące podparcie torów	2,0
Przyczółki mostów i podpory	2,0
Δε w czasie eksploatacji	0,5

Niestety bardzo rzadko pojawiają się w polskich specyfikacjach technicznych warunki stawiane wydłużeniom, co oznacza, że dany projekt nie został przemyślany do końca i nie zawiera sprawdzenia warunku na wydłużenie zbrojenia. W praktyce w ramach 2. stanu granicznego wykonuje się tak długo obliczenia, aż ustali się potrzebne wartości charakterystycznej wytrzymałości zbrojenia na rozciąganie ($F_{k,\varepsilon}$) dla warunków:

$$(R_k + F_{k,\varepsilon}) \geq E_k \quad (6)$$

$$\Sigma(R_{k,\varepsilon} \cdot r_R) + \Sigma(F_{k,\varepsilon} \cdot r_F) \geq \Sigma(E_k \cdot r_E) \quad (7)$$

O ile $T_k < F_{k,\varepsilon}$ dla danej wkładki zbrojeniowej, we wzorach (6, 7) należy podstawić odpowiednie wartości T_k, które wyznacza się wzorem:

Phoca PDF

$$T_k = 2 \cdot L_B \cdot [a_{\varphi'} \cdot \tan(\varphi'_k + a_{c'} \cdot c'_k] \quad (8)$$

Oznacza to, że w ramach 2. stanu granicznego wszystkie współczynniki cząstkowe bezpieczeństwa są równe 1,00, zatem obliczenia wykonuje się jedynie dla wartości charakterystycznych zarówno obciążeń, jak i parametrów wytrzymałościowych gruntu i zbrojeń. Wartości $F_{k,\varepsilon}$ spełniające warunki (6) i (7) zamieszcza projektant w specyfikacji technicznej podając jednocześnie warunek na wydłużenie i czas eksploatacji. W przypadku przyczółków i podpór mostowych projektant żąda w specyfikacji, ażeby wytrzymałość $F_{\Delta k,\varepsilon}$ nie była mniejsza od wartości $F_{k,\varepsilon}$.

Obliczeniowa wytrzymałość geosyntetyków na rozciąganie – 1. stan graniczny

W metodzie stanów granicznych wartość obliczeniową geosyntetyków na rozciąganie dla 1. stanu granicznego wyznacza się wg (EBGEO 1997) wzorem (9). A1…5 - są to współczynniki materiałowe, uwzględniające poszczególne wpływy: A1 - pełzanie, A2 - uszkodzenia mechaniczne powstałe w procesie wbudowywania, A3 – utratę wytrzymałości na połączeniach (ponieważ na ogół unika się połączeń na głównym kierunku nośnym, zostanie pominięte zagadnienie ustalania wytrzymałości na połączeniach), A4 – wpływ środowiska wodno-gruntowego i A5 – wpływ obciążeń cyklicznych lub dynamicznych na zmęczenie materiałowe. Współczynniki te stanowią charakterystyki materiałowe, a więc ich wielkości są w zasadzie niezależne od metody wymiarowania:

$$F_d = \frac{F_{o,k}}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot \gamma_F} \quad (9)$$

$F_{o,k}$ – wartość charakterystyczna (krótkoterminowa, UTS – ultimate tensile strength) wytrzymałość na rozciąganie według EN ISO PL 10 319 na taśmach o szerokości 20 cm rozciąganych ze standardową prędkością 20%/min. Jest to wartość deklarowana dla poziomu ufności 95%;
γF - współczynnik bezpieczeństwa materiałowego, wg tablicy 1.

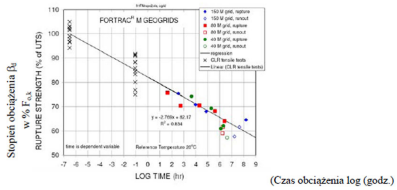
Współczynniki materiałowe A1… A4 ustalane są w oparciu o badania laboratoryjne, a nawet i polowe (A2), a ich wartości powinny być ustalone lub potwierdzone przez niezależne instytuty akredytowane przy UE. W Polsce jednostką taką, która ma do tego uprawnienia UE w odniesieniu do geosyntetyków jest właśnie ITB w Warszawie. Właściwości reologiczne polimerów czy też produktów polimerowych ustala się poprzez badanie pełzania przy stałym obciążeniu w stałej temperaturze wg DIN EN ISO 13 431 lub metodą SIM (Stepped Isothermal Method - metodą jednakowych skoków termicznych (Lothspeich i Thorton, 2000). Wg DIN EN ISO 13 431 badanie na pełzanie należy przeprowadzić dla co najmniej 10.000 h. Wyniki badania nanosi się w formie, jak to pokazano na rys. 1, oś pozioma log (t) – czas obciążenia, oś pionowa, skala naturalna, stopień obciążenia $ß_d$ w odniesieniu do wytrzymałości

Phoca PDF

krótkotrwałej $F_{o,k}$. A1 – współczynnik materiałowy z tytułu pełzania dla danego czasu obciążenia t stanowi wartość odwrotną stopnia obciążenia w momencie zerwania się zbrojenia:

$$A_1 = \frac{1}{\beta_d} \quad (10)$$

A1 można wyznaczać również metodą SIM o ile badanie na pełzanie dla dwóch pierwszych progów temperatury trwało co najmniej 1008 h a dla trzeciego co najmniej 4000 h (M Geok. E, 2005). Przykładowo na rys. 1 podane zostały wyniki badań SIM dla geosiatek z PVA. Takie właśnie dane graficzne (lub tabelaryczne) powinny być dołączane do dowodu wystarczającej wytrzymałości danego geosyntetyku dla 1. stanu granicznego składane przez oferenta i potwierdzone przez akredytowany przy UE instytut. O ile nie ma takich badań, wartości współczynnika A1 przyjmuje się w Niemczech i we Francji jak następuje: PP i PEHD: $A_1 = 5{,}0$ a dla PA, PES, PVA, AR: $A_1 = 2{,}5$



A_2 – współczynnik materiałowy uwzględniający uszkodzenia mechaniczne przy wbudowaniu wg normy DIN EN ISO 10722-1 lub na podstawie badań polowych wg (TL Geok E-StB, 2005). W przypadku stosowania narzutów kamiennych można w celu obniżenia wartości A_2 zastosować przekładki z piasku lub żwiru, które nie zmniejszają znacznie zazębienia, ale skutecznie chronią geosyntetyk przed uszkodzeniem mechanicznym. O ile nie ma odpowiednich i wiarygodnych wyników badań wartości współczynnika A_2 należy w Niemczech przyjmować jak następuje (EBGEO, 1997):

- dla gruntów drobnoziarnistych i piaszczystych $A_2 = 1{,}50$
- dla gruntów żwirowych z ziarnem obtoczonym $A_2 = 2{,}00$
- dla kamienia łamanego A_2 należy ustalić lub potwierdzić w oparciu o badania polowe np. wg (TL Geok E-StB, 2005).

Podsumowując należy podkreślić, że trwałość i wytrzymałość długoterminowa w dużym stopniu zależy od tego na ile dany geosyntetyk został uszkodzony w trakcie wbudowania. Zatem należy starannie nadzorować tę część robót, pamiętając o tym, że zasypany geosyntetyk ukrywa wszystkie wady czy uszkodzenia, które mogą być przyczyną późniejszej awarii.

Phoca PDF

Współczynnik materiałowy A_3 uwzględnia utratę wytrzymałości na połączeniach i szwach. W zależności od lica ściany i typu połączeń należy ustalać poprzez badania ~~faktyczną wytrzymałość na połączeniach. Szwów lub zakładów na kierunku głównym~~ zbrojenia należy unikać.

Współczynnik materiałowy A_4 uwzględniający wpływ środowiska wodno-gruntowego wyznacza się w oparciu o badania wytrzymałości próbek poddanych normowemu oddziaływaniu różnych środowisk. Poniżej przytacza się zalecenia zawarte w M Geok E, 2005:

Okres użytkowania Dowód dostatecznej odporności wg
do 5 lat DIN EN 13249, Załącznik B 2
do 25 lat DIN EN 13249, Załącznik B 3
do 100 lat DIN EN 13249, Załącznik B 4,
(TL-Geok E-StB, 2005) i (M Geok E, 2005)

Bez przedłożenia wyników odpowiednich badań należy przyjmować wg (EBGEO, 1997) wartości A_4 dla okresu użytkowania do 100 lat jak następuje:
Poliamid (PA), aramid (A), Polipropylen (PP) i polietylen (PEHD) $A_4 = 3,3$
Poliwinyloalkohol (PVA) i poliester (PES) $A_4 = 2,0$.

Charakterystyczna wytrzymałość na rozciąganie - 2. stan graniczny

Dla sprawdzenia warunku 2. stanu granicznego należy posłużyć się izochronami i wyznaczyć wartość charakterystyczną wytrzymałości długoterminowej, $F_{k,\varepsilon}$. Stąd izochrony są integralną częścią każdej dokumentacji wykonawczej. Dla przykładu na rys. 2 pokazano izochrony dla geosiatki z PVA. Zgodnie z Instrukcją ITB 429/2007 (Wysokiński i Kotlicki, 2007) dla 2. stanu granicznego wyznaczać należy wartość charakterystyczną wytrzymałość na rozciąganie z warunku dopuszczalnego całkowitego wydłużenia następującym wzorem:

$$F_{k,\varepsilon} = \frac{F_{0,k} \cdot \beta_\varepsilon}{A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} \quad (11)$$

gdzie:
$ß_\varepsilon$ - dopuszczalny stopień obciążenia zbrojenia dla danego dopuszczalnego wydłużenia zbrojenia ε_{gr} i danego okresu użytkowania budowli (t). Wartość $ß_\varepsilon$ ustala się w oparciu o izochrony dla danego produktu, rys. 2.

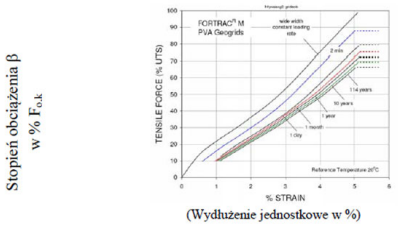
W przypadku przyczółków lub podpór mostowych dodatkowo wyznacza się wartość charakterystyczną wytrzymałości zbrojenia dla warunku nie przekroczenia $\Delta\varepsilon$:

Phoca PDF

$$F_{k,\Delta\varepsilon}=\frac{F_{o,k}\cdot\beta_{\Delta\varepsilon}}{A_2\cdot A_3\cdot A_4} \quad (12)$$

gdzie:

$ß_{\Delta\varepsilon}$ - dopuszczalny stopień obciążenia zbrojenia dla danego dopuszczalnego przyrostu wydłużenia zbrojenia Δε od czasu zakończenia budowy do końca eksploatacji obiektu (Δt).



(Wydłużenie jednostkowe w %)

Niestety bardzo rzadko pojawiają się w specyfikacjach technicznych warunki stawiane wydłużeniom co oznacza, że projekt nie zawiera sprawdzenia warunków 2. stanu granicznego. Należy pamiętać o tym, że skutków wydłużeń pobudowlanych nie da się już kompensować bez ponoszenia kosztów, a zatem poprawnie sporządzony projekt bezwzględnie powinien zawierać dowody stateczności dla 1.- i 2.- stanu granicznego. Poza tym brakuje w specyfikacjach technicznych wartości wskaźników zazębienia się gruntu ze zbrojeniem, co uniemożliwia poprawny dobór typu zbrojenia zapewniającego wymagane zakotwienie.

Wnioski

Projektowanie konstrukcji ziemnych z geosyntetykami napotyka w Polsce na brak norm, przepisów czy też zaleceń technicznych. Stąd też projekty wykonywane są z pominięciem wielu zasadniczych aspektów, a w szczególności cechuje się brakiem dowodu na spełnienie drugiego stanu granicznego. W specyfikacjach technicznych bardzo często nie podaje się warunku na dopuszczalne wydłużenie zbrojenia, co jest poważnym ich mankamentem.

Przedstawione zasady wymiarowania konstrukcji ziemnych pozwalają na poprawne wykonanie statyki i to zarówno dla pierwszego, jak i drugiego stanu granicznego oraz poprawne sporządzenie specyfikacji technicznej do dokumentacji przetargowej. Do czasu wydania Polskiego Załącznika do EC 7 w zakresie projektowania konstrukcji z gruntu zbrojonego autor referatu proponuje opierać się przy projektowaniu tych konstrukcji na Instrukcji ITB 429/2007. Wartości cząstkowych współczynników bezpieczeństwa proponuje ustalać w oparciu o tablice 2 zawartą w niniejszym materiale.

Janusz Sobolewski

Phoca PDF

Huesker Synthetic GmbH, Niemcy

Materiał był prezentowany podczas Międzynarodowej Konferencji ENVIROAD 2009, 15-16 listopada 2009 r., Warszawa.

Literatura